فعالية استخدام الأشعة فوق البنفسجية في دعم الفلاتر الجزيئية لتطهير الهواء المعاد تدويره في كل من غرف العمليات والعناية المشددة*

م. أيمن الكيال**

د. محمد فراس الحناوي*** د. نقولا أبو عيسى****

الملخص

تعدُّ مقدرة الهواء على نقل الكائنات الحية المجهرية أحد العناصر المهمة المؤثرة في جودة عقامة الجو في الأماكن المغلقة, وبشكل خاص الأماكن التي يجب أن تحقق مستوىً عالياً من العقامة, مثل مراكز الرعاية الصحية, وعلى الأخص في أقسام العمليات ووحدات العناية المشددة والحجر الصحي, ويعود ذلك إلى طبيعة الوظائف التي تجرى في هذه الأقسام وحساسيتها, إذْ تنتج خصوصية التعامل مع جو المشفى عن التعقيدات التي تفرضها مهام المشفى ووظائفه، مثل وجود مرضى يعانون من مشكلات صحية ذات منشأ جرثومي أو فيروسي, ومن ثَمَّ إمكانية نقل العدوى إلى الموجودين في المشفى (زوار, أطر طبية, أطر خدمية), مما يفرض على الباحثين والعلماء العمل لإيجاد حلول متكاملة للمحافظة على المستوى العقيم لجو المشفى.

تبحث هذه الدراسة في فعالية الأشعة فوق البنفسجية في تطهير الهواء المتدفق عبر مجاري التهوية إلى كل من غرف العمليات والعناية المشددة, إذْ صُمِّمَتْ منصة تجربة ثبت من خلالها ثلاثة مصابيح أشعة فوق بنفسجية في المنطقة العلوية من مجرى تهوية مزود بمروحة ذات معدل ضخ متغيّر يحاكي معدلات تدفق كل من غرف العمليات والعناية المشددة, لتحديد زمن تعرض الكائنات المجهرية للأشعة, ثم قِيسَ توزع كثافة الأشعة عند عدة مستويات ضمن المجرى, ثم ربطت هذه العوامل مع بعضها بعضاً عبر برنامج حاسوبي نُفِّذَ بواسطة بيئة *LABVIEW* البرمجية بهدف تحديد فعالية تطهير الهواء المتدفق إلى غرف العناية المشددة والعمليات اعتماداً على المتطلبات التصميمية ومستوى العقامة.

ثم استخدم هذا البرنامج لتحديد فعالية استخدام التشعيع فوق البنفسجي ضمن مجاري التهوية في كل من غرف العناية المشددة والعمليات, وقد أكدت نتائج البحث إمكانية استخدام تقنية التشعيع فوق البنفسجي القاتل للجراثيم بوصفه نظاماً مستقلاً للقيام بمهمة تطهير الهواء المعاد تدويره ضمن مجرى التهوية إلى غرفة العناية المشددة عند مستوى عقامة 90%, أو 99% (عند استخدام مصابيح الأشعة ذات الخرج الإشعاعي العالي للحالة الثانية), أمَّا من أجل غرفة العمليات وبسبب ارتفاع معدل تجديد الهواء, فإن وظيفة هذه التقنية تنحصر في دعم المرشحات الجزيئية عالية الفعالية وتخفيف العبء عنها مما يؤدي إلى زيادة عمرها عملها، فضلاً عن التمكن من إعادة استخدام الهواء المطرود من تلك الأماكن في أقسام أخرى, بحيث يراعى مرور الهواء المعاد استخدامه عبر نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية سامحاً بتوفير المال من خلال توفير الطاقة المصروفة لمعالجة هواء جديد كلياً كي يناسب تلك المناطق.

الكلمات المفتاحية: التشعيع فوق البنفسجي المبيد للجراثيم, تطهير الهواء ضمن مجاري التهوية, غرف العمليات, غرف العناية المشددة, المرشحات الجزيئية عالية الفعالية.

---

*أُعدَّ هذا البحث في سياق رسالة الماجستير في الهندسة الطبية للمهندس أيمن الكيال بإشراف الدكتور المهندس محمد فراس الحناوي ومشاركة الدكتور نقولا أبو عيسى.

**إجازة في الهندسة الطبية, مهندس في قسم الهندسة الطبية, كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية, جامعة دمشق.

***دكتور في الهندسة الطبية, أستاذ مساعد, قسم الهندسة الطبية, كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية, جامعة دمشق.

****دكتور في الفيزياء النووية, أستاذ مساعد, قسم الهندسة الطبية, كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية, جامعة دمشق

1. مقدمة

تتميّز بيئة المشافي الداخلية بدرجة عالية من التعقيد بسبب اختلاف استخدام المساحات الداخلية ضمنها, ومن ثَمَّ اختلاف المتطلبات التصميمية تبعاً لنوع التطبيق ودرجة العقامة المطلوب تحقيقها, إذْ ترتفع أهمية تأمين مستويات عالية من عقامة الهواء في الغرف العقيمة مثل غرف العمليات من أجل حماية كلٍّ من المريض والأطر الطبية من الإصابة بالعدوى. يمكن تحقيق هذا الأمر من خلال منع انتشار الكائنات المجهرية الممرضة (فيروسات, وجراثيم, وفطور) في البيئة الداخلية للمشفى عبر أنظمة التهوية المركزية بواسطة عدة طرائق، منها: استخدام المرشحات, ورفع معدل تجديد الهواء ضمن هذه الغرف, واستخدام الأشعة فوق البنفسجية لقتل هذه الكائنات.[1]

بدأت الدراسات حول التطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية منذ مدة طويلة من الزمن, وقد نتج عنها العديد من النتائج عن تصميم هذه الأنظمة واختبارها, لكن لم يتم التوصل بعد إلى وضع معيار متكامل يؤكد فعالية الأشعة فوق البنفسجية من أجل تطبيقات التطهير في مراكز الرعاية الصحية.[2]

أجريت دراسة في المملكة المتحدة لاختبار نظام تطهير هواء مكون من مرشح كيميائي ونظام تطهير بالأشعة فوق البنفسجية, يعمل عند معدل تدفق $500m^3/h$, لإجراء عملية التطهير على MS2 phage (E.coli) وMycobacterium vaccae, إذْ كان معدل إبادة MS2عند استخدام ثلاثة مصابيح يساوي 97.34%, وكانت فعالية إبادة Mycobacterium vaccae تساوي99.99%عند استخدام ستة مصابيح.[1]

كما أجرى Kujundzic وفريقه دراسة لتقييم فعالية الأشعة فوق البنفسجية لإبادة أبواغ الفطور والبكتريا النباتية ضمن مجاري التهوية وكانت فعالية الإبادة تساوي 75%للفطور و87% للبكتريا النباتية, عند سرعة تيار هواء تساوي 2.2 m/s, وعندما رفع سرعة التيار الهوائي إلى 5.1m/s لم يلاحظ حدوث إبادة للجراثيم المدروسة.[3]

وفي عام 2008 أجريت دراسة لتطوير نموذج تحليلي يدرس تأثير الشروط المحيطة في حرارة سطح مصباح الأشعة فوق البنفسجية, إذْ دُرِسَت حرارة سطح المصباح ضمن شروط العمل في مجرى التهوية, مع تغيّر درجة الحرارة المحيطة بين ^oC10-32.2, وتغيّر سرعة تيار الهواء بين m/s3.25-0, تغيّرت درجة حرارة سطح المصباح بين ^oC12.7-41.9 بمعدل أعظمي 68%.[4]

الهدف من هذا البحث تحديد المعادلة التي تحكم عملية تطهير الهواء المتدفق ضمن مجرى التهوية المركزية باستخدام الأشعة فوق البنفسجية, ودراسة فعالية التطهير هذه من أجل غرف العمليات والعناية المشددة انطلاقاً من معدل التهوية ومستوى العقامة المطلوب بالاعتماد على البرنامج الحاسوبي الذي نُفِّذَ لهذه الغاية.

تعرّف الأشعة فوق البنفسجية بأنها حزمة من الأمواج الكهرطيسية غير المرئية وغير المؤينة, تمتد على مجال الأطول الموجية بينnm 400 – 100, ويقسم هذا المجال إلى ثلاث حزم هي الحزمة UV-A (400 nm– 315), و-UV B(315 – 280 nm), والحزمة UV-C(280 – 100 nm).[5]

يعرف التشعيع فوق البنفسجي المبيد للجراثيمUltraviolet germicidal irradiation (UVGI), بأنه استخدام الأشعة فوق البنفسجية ذات طول الموجة nm254 من أجل قتل الأحياء الدقيقة من خلال تدمير روابط الحمض النووي في خلاياها.

تمكن هذه الطريقة من تخفيض معدل التهوية المطلوب للحفاظ على عقامة الهواء في الغرف العقيمة،

وكذلك تخفيض درجة الاعتماد على المرشحات[6], مما يجعلها من الطرائق الواعدة في تطهير الهواء المتدفق إلى الغرف العقيمة في المشافي والمعامل الدوائية.[4]

يتألف الحمض النووي DNA في خلية الكائنات المجهرية من مجموعة من النيكليوتيدات nucleotides مصنفة ضمن صنفين: الصنف الأول Purine ويتضمن النيكليوتيدين adenine وguanine, والصنف الثاني Pyrimidine ويتضمن thymine وcytosine. ترتبط هذه النيكليوتيدات ببعضها بعضاً بروابط هيدروجينية, ويتميّز كلا هذين النوعين بالامتصاصية العالية لفوتونات الأشعة فوق البنفسجية, إلا أن تأثير التخريب الإشعاعي يظهر في Pyrimidines أكثر من Purines, ويتجلى هذا التخريب بعدة أشكال تختلف بحسب جرعة الأشعة, أكثر أنواع التخريب الإشعاعي حدوثاً Pyrimidine Dimmers, إذْ تتشكل هذه الرابطة غير السليمة على نيكليوتيدين من نوع Thymine, ومن ثَمَّ تتصف الخلايا ذات الحمض النووي DNA الغني بنيكليوتيد Thymine بأنها ذات حساسية عالية للأشعة فوق البنفسجية. [7,8]

تُحْسَبُ نسبة بقاء هذه الكائنات المجهرية على قيد الحياة بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية انطلاقاً من المعادلة العامة للتطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (المعادلة (1)), التي تربط بين العوامل الثلاثة الأساسية المؤثرة في عملية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية, وهي زمن التعرض الأشعة، وكثافة الأشعة، وحساسية الكائن المجهري للأشعة.[7]

$$S(t)\frac{N_t}{N_0} = e^{-KIt} \qquad (1)$$

إذْ: S(t): نسبة بقاء الأحياء الدقيقة على قيد الحياة بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية, ويأخذ قيمة بين الصفر والواحد, أو كنسبة مئوية عند ضرب طرفي المعادلة بـــ 100, N_t: عدد الأحياء الدقيقة الحية بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية مدة زمنية t, N_0: عدد الأحياء الدقيقة الأولي, قبل التعرض للأشعة فوق البنفسجية, k: حساسية الكائن المجهري للأشعة, وهي قيمة مرتبطة بنوع هذا الكائن المجهري [m^2/J], I: كثافة الأشعة [W/m^2], t: زمن التعرض للأشعة [sec].

يرتبط عامل الحساسية للأشعة فوق البنفسجية Susceptibility بنوع الكائن المجهري سواء كان فيروساً أم جرثوماً أم فطراً, وهو يعبّر عن مدى مقاومة الكائن المجهري للأشعة إذْ كلما زادت قيمة *k*, زادت حساسيته للأشعة وقلت مقاومته لها, ويؤثر فه عبورية غشاء الخلية للأشعة إلى داخل الكائن المجهري, وبذلك تكون الخلايا المتبوغة أعلى مقاومة للأشعة التي يتخامد قسم كبير منها عند الغشاء, ويضعف تأثيرها في المحتوى الخلوي, يتعلق هذا العامل أيضاً بوسط وجود الكائن الحي سواء في الهواء أو الماء [9], وكذلك يؤثر فيه تكدس الكائنات المجهرية في مستعمراتها بشكل طبقات فوق بعضها بعضاً, إذْ تقلِّلُ الكائنات الموجودة على السطح من جرعة الأشعة الواصلة إلى الكائنات الموجودة تحتها, ويتأثر عامل الحساسية بشكل مباشر بأبعاد الخلية الحية, والوزن الجزيئي لكل من DNA وRNA, ونسبة كل من نيكليوتيدات (C+G)% و(T+A)% في الخلية, وأنواع روابط DNA, ووجود الأنزيمات الضرورية لعملية إصلاح الضرر الناتج عن الأشعة فوق البنفسجية[7], وتتأثر كثافة حقل الأشعة فوق البنفسجية بعدة عوامل مثل استطاعة منبع الأشعة, وطريقة توضعها, وانعكاس الأشعة عن السطوح الداخلية لمجرى التهوية, أمَّا زمن التعرض للكائن المجهري المحمول مع تيار الهواء للأشعة فينتج عن سرعة تيار الهواء المتدفق ضمن مجرى التهوية, المرتبطة بمعدل التدفق ومساحة مقطع

مجرى التهوية, حيث ينتج معدل التهوية عن نوع الغرفة المراد تهويتها وحجمها ووظيفتها, ومعدل تجديد الهواء فيها.

انطلاقاً من المعادلة (1) يمكن أن نحصل على فعالية إبادة الكائنات المجهرية E% المبينة بالمعادلة (2).

$$E\% = (1 - S(t)) \times 100 = \left(1 - \frac{N_t}{N_0}\right) \times 100 \qquad (2)$$

2. طرائق البحث والمواد المستخدمة فيه

من أجل ربط هذا البحث بالحالة الواقعية نُفِّذَتْ منصة اختبار مكونة من:

1- مجرى تهوية تجريبي مصنوع من مادة الحديد المغلفن المستخدمة عادة في صنع مجاري التهوية المركزية, مساحة مقطعه 0.45×0.45m القريبة من مساحة مقطع مجاري التهوية المستخدمة لأقسام العمليات, وكان طول المجرى 2.6 m, علماً بأن عامل انعكاسية الأشعة فوق البنفسجية عن الحديد المغلفن يتعلق بدرجة صقله ويراوح بين 53% - 57% [7].

زُود المجرى بمروحة تؤمن معدلَ تدفقٍ متغيّراً (يصل إلى 4100 m^3/h (68.33 m^3/min), وجرى العمل على المجال بين 6-50 m^3/min) طراز المروحة SUMO2940, من صنع SHAM I.

2- ثلاثة مصابيح مولدة للأشعة فوق البنفسجية طرازها TUV36WT8 تصدر أشعة فوق بنفسجية بطول موجة 254 nm, بكثافة اسمية $I=145\mu W/cm^2$, واستطاعة خرج إشعاعي تساوي $P_{UV}=15watts$, واستطاعة كهربائية P=36watts, صنع PHILIPSelectronics.

3- مقياس كثافة الأشعة فوق البنفسجية, يعمل عند طول الموجة 254 nm المستخدم للتطهير من LUTRON electronics, طراز UV-254.

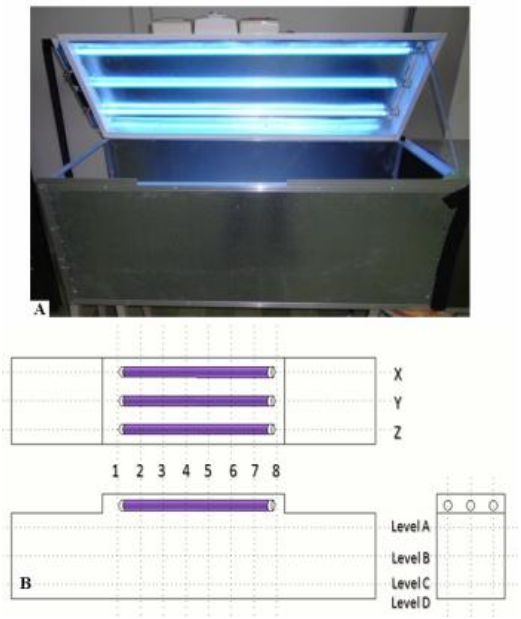
4- مقياس سرعة ومعدل تدفق الهواء طراز TM-401 من شركة TENMARS.

5- أطباق مخبرية تحوي مستعمرات جرثومة E.coli على وسط مُغَذٍّ مدمّى, تركيز هذه المستعمرات 10^7 مستعمرة لكل مل [colony/ml].

6- بيئة LABVIEWالبرمجية, النسخة 9 (2009) من شركة national instrument.

ثُبِّتَتْ مصابيح الأشعة فوق البنفسجية في المنطقة العلوية من مجرى التهوية ضمن حجرة خاصة, بهدف التقليل من انخفاض الخرج الإشعاعي للمصابيح الناتج عن انخفاض درجة حرارة سطح المصباح التي تسببها عملية التبريد التي يحدثها التيار الهوائي على المصابيح, يبيّن الشكل (1-A) مجرى التهوية والحجرة التي تتوضع فيها المصابيح.

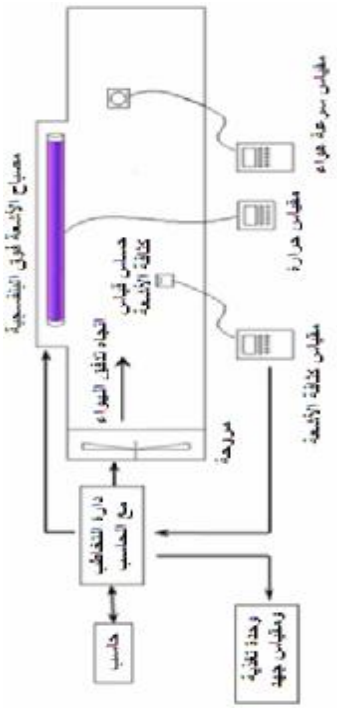
قِيسَتْ كثافة الأشعة فوق البنفسجية على عدة مستويات (A,B,C,D) ضمن مجرى التهوية, كما يظهر في الشكل (1-B), مع توجيه حساس القياس إلى أربعة اتجاهات (علوي, سفلي, يمين, يسار), تعبّر قيم الكثافة المقيسة في هذه الاتجاهات عن الأشعة الصادرة مباشرة عن المصابيح, والأشعة المنعكسة عن السطوح الداخلية الثلاثة لمجرى التهوية, حيث جرت مكاملة هذه النتائج مع بعضها بعضاً للحصول على كثافة الأشعة الواردة إلى نقاط القياس من الاتجاهات كلّها.



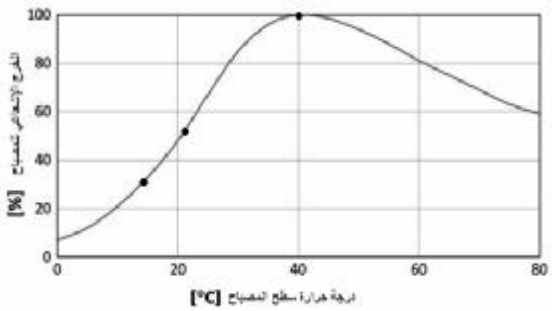
الشكل (1) A مجرى التهوية المنفذ في أثناء البحث مبيناً مصابيح الأشعة فوق البنفسجية المتوضعة ضمن حجرة خاصة
B: مستويات قياس كثافة الأشعة ضمن مجرى التهوية

جرى تأمين التغيّر في زمن التعرض للأشعة من خلال استخدام مروحة تؤمن معدلَ تدفقٍ متغيّراً بين 6-50 m^3/min من أجل محاكاة معدل التدفق لكل من غرفة العمليات وغرفة العناية المشددة, يبيّن الشكل (2) المخطط الصندوقي لنظام الاختبار.

وتبيّن خلال البحث تطابق النتائج العملية لكثافة الأشعة المتعلقة بدرجة حرارة سطح المصباح مع النتائج النظرية [11,4], إذْ يبيّن المخطط في الشكل (3) علاقة الخرج الإشعاعي للمصباح كتابع لدرجة حرارة سطح المصباح, ويظهر على المخطط بعض النقاط التي اِختُبِرَتْ عملياً في أثناء البحث ضمن المجال درجات الحرارة المطلوبة للبحث, واستُخدِمَت هذه النتائج في إعداد البرنامج الحاسوبي المستخدم لحساب الفعالية النهائية للتطهير بالأشعة فوق البنفسجية. يبيّن الشكل (4) العوامل الرئيسة والفرعية المؤثرة في فعالية تطهير الهواء ضمن مجرى التهوية باستخدام الأشعة فوق البنفسجية.



الشكل (2) المخطط الصندوقي لنظام الاختبار.



الشكل (3) علاقة الخرج الإشعاعي بدرجة حرارة سطح مصباح الأشعة, وتظهر عليه النقاط الاختبار التجريبية.

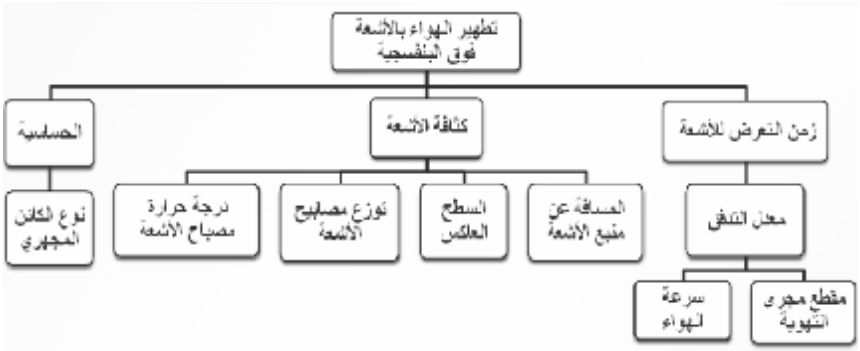
كما أظهرت نتائج كثافة الأشعة المقيسة ضمن مجرى التهوية العلاقة بين الأشعة المباشرة الصادرة عن مصابيح الأشعة والأشعة المنعكسة عن السطوح الداخلية لمجرى التهوية، وراوحت نسبة كثافة الأشعة المنعكسة

إلى كثافة الأشعة الكلية بين 35%-52%, وقد توافقت هذه النتائج العملية لكثافة الأشعة المباشرة مع معادلة View factor الحاكمة لانتشار الأشعة فوق البنفسجية[7], مع إدخال معامل تصحيح يعوض الخطأ الناتج عن محدودية حساس الأشعة.

انطلاقاً من المعادلة العامة لعملية التطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (المعادلة (1)), طُوِّرَت المعادلة (2) التي تحكم عملية تطهير الهواء ضمن مجرى التهوية والتي تربط بين العوامل المؤثرة في هذه العملية التي لم تكن مأخوذة بالحسبان في المعادلة (1).

$$S(t) = \frac{N_t}{N_0} = e^{-K.(I_d + I_r).\frac{3600.l.A}{ACH.V}} \qquad (3)$$

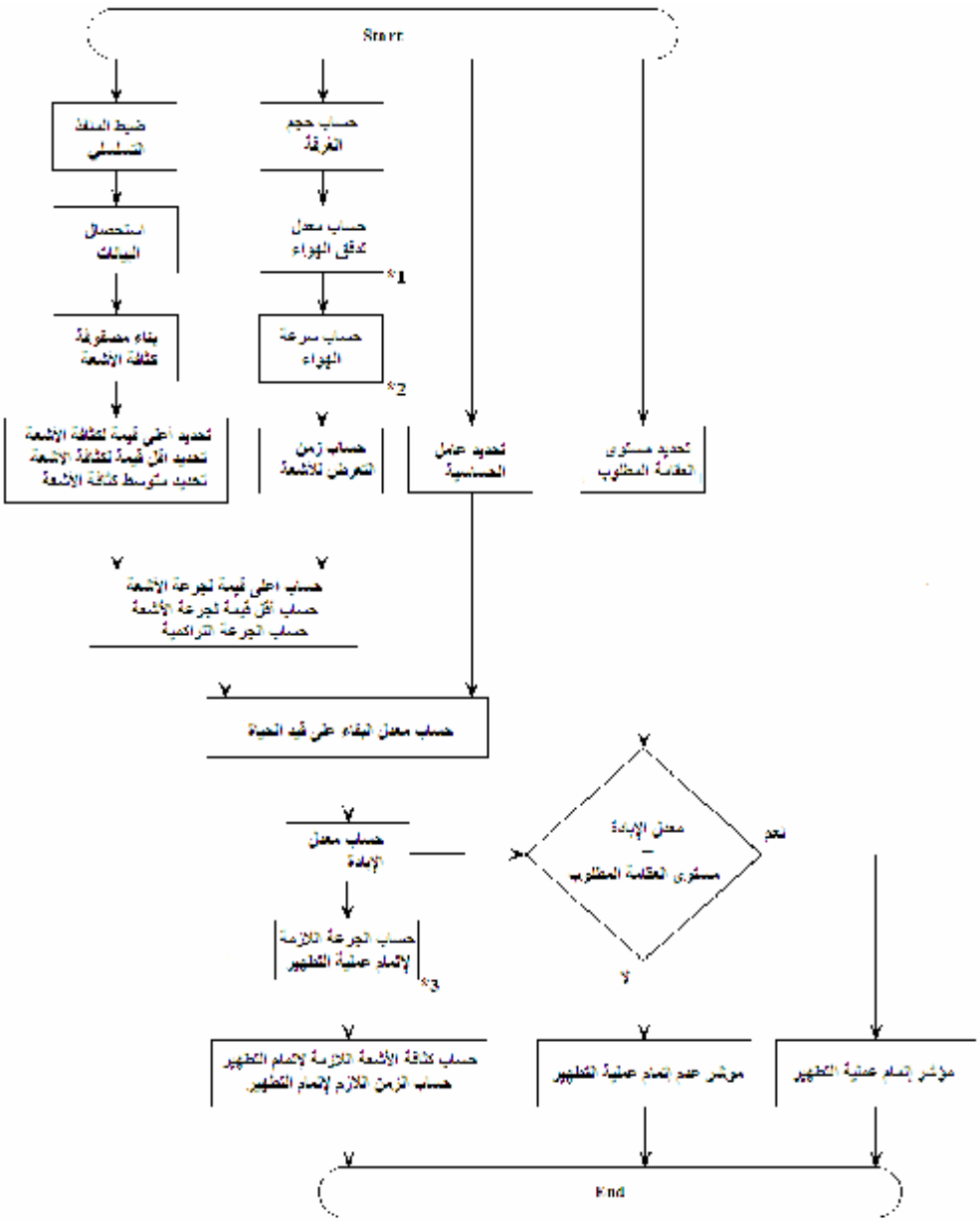
إذْ: N_t: عدد الأحياء الدقيقة الحية بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية مدة زمنية t, N_0: عدد الأحياء الدقيقة الأولي قبل التعرض للأشعة, k: حساسية الكائن المجهري للأشعة, وهيمرتبطة بنوع الكائن المجهري [m^2/J], I_d: كثافة الأشعة المباشرة الناتجة عن مصابيح الأشعة فوق النفسجية [W/m^2], I_r: كثافة الأشعة المنعكسة عن السطوح الداخلية لمجرى التهوية[W/m^2],l: طول المنطقة المشعّة [m], A: مساحة مقطع مجرى التهوية [m^2], V: حجم الغرفة المراد تهويتها [m^3], ACH: معدل تجديد الهواء في الساعة ضمن الغرفة المراد تهويتها, ويساوي من أجل غرفة العمليات 20 مرة في الساعة, في حين في غرف العناية المشددة 6 مرات في الساعة[10].



الشكل (4) العوامل الرئيسة المؤثرة في عملية تطهير الهواء المتدفق ضمن مجرى التهوية, والعوامل الفرعية المنبثقة عنها.

قبل البدء بإعداد البرنامج كان لا بدَّ من تحديد العوامل التي ستؤدي دوراً أساسياً في الخوارزمية البرمجية المبينة بالمخطط التدفقي بالشكل (5) وهي:

1- فعالية التطهير المطلوبة.
2- الكثافة الكلية للأشعة الناتجة عن الأشعة المباشرة والأشعة المنعكسة, وهي قيم تم الحصول عليها تجريبياً خلال البحث.
3- المسافة بين منبع الأشعة والكائنات المجهرية.
4- زمن التعرض للأشعة, المرتبط بمعدل التدفق, وقد حُدِّدَ معدل التدفق اعتماداً على المعيار ANSI/ASHRAE/ ASHE-170-2008.[10]
5- درجة حرارة الهواء المتدفق ضمن مجرى التهوية, الذي يؤثر في الخرج الإشعاعي لمصابيح الأشعة, إذْ يمكن الحصول على درجات الحرارة هذه من المعايير التي تحدد المتطلبات التصميمية لأقسام المشفى [11,4].



الشكل (5) المخطط التدفقي للبرنامج الحاسوبي المنفذ في البحث

[*1] اعتماداً على معدل تغيير الهواء في الساعة ACH. [*2] اعتماداً على مساحة مقطع مجرى التهوية. [*3] اعتماداً على معدل مستوى التطهير المطلوب في قائمة معايير التطهير

مكّننَا البرنامج الحاسوبي المصمم في أثناء البحث من تحديد فعالية نظام تطهير الهواء باستخدام الأشعة فوق البنفسجية, وتحديد الحدود الدنيا لكثافة الأشعة وزمن التعرض والجرعة اللازمة لإتمام عملية التطهير عند مستوى العقامة المطلوب في غرفة العناية المشددة والمساوي90%, وفي غرفة العمليات حيث مستوى العقامة المطلوب يساوي 99.9999% [12,13], فضلاً عن إمكانية استخدام البرنامج من أجل بقية أقسام المشفى إذْ

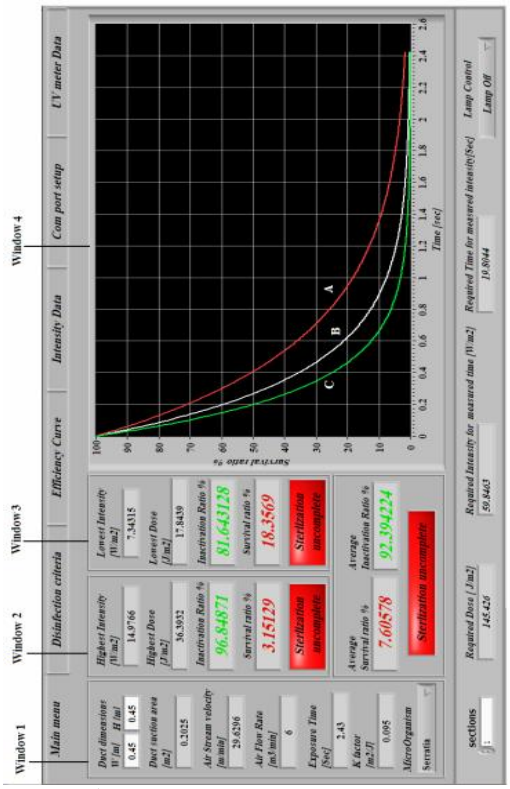
حُدِّد مستوى العقامة اعتماداً على المعيار IUVA-S01-2005. [12,13]

يتألف البرنامج الحاسوبي المنفذ في أثناء البحث من ست واجهات هي الواجهة الرئيسة main menu, وواجهة معيار التطهير Disinfection criteria, وواجهة منحنى فعالية التطهير Efficiency curve, وواجهة كثافة الأشعة المقيسة Intensity data, وواجهة إعدادات المنفذ التسلسلي Com port setup, وواجهة بيانات جهاز قياس الكثافة UV mater data.

تتألف الواجهة الرئيسة main menu من مجموعة من النوافذ مبينة بالشكل (6) هي: نافذة إدخال البيانات input window(window1) التي تمكن المستثمر من إدخال أبعاد مقطع مجرى التهوية واسم الكائن المجهري المطلوب تحديد فعالية التطهير من أجله، في حين يمكن تحديد أبعاد الغرفة ومعدل تجديد الهواء ومستوى العقامة المطلوب من الواجهة الثانية Disinfection criteria.

تعرض كل من النافذة الثانية (window2) والنافذة الثالثة (window3) في الواجهة الرئيسة المبيّنة بالشكل (6) نتائج عملية التطهير من أجل أعلى وأخفض كثافة ضمن مجرى التهوية, فضلاً عن متوسط الكثافة، في حين تعرض النافذة الرابعة (window4) منحنى يبيّن علاقة معدل الإبادة مع الزمن.

بعد الانتهاء من تنفيذ البرنامج جرى اختباره والتأكد من تطابق نتائجه مع الحالة الواقعية, وقد أجري الاختبار باستخدام أطباق مخبرية تحوي مستعمرات E.coli مزروعة على وسط مُغَذٍّ مدمّى مكون من 15g من وسط Thioglycollate المغذي المحلول في ماء مقطر, حيث يساوي عامل حساسية جرثوم E.coli للأشعة فوق البنفسجية في الأطباق $k=0.0007675\ m^2/J$. [14]



الشكل (6) الواجهة الرئيسة للبرنامج الحاسوبي مبيناً العوامل المؤثرة في عملية التطهير, وفعالية التطهير ومنحنى علاقة معدل الإبادة مع الزمن عند أعلى (A) وأقل (B) ومتوسط (C) كثافة الأشعة المقيسة ضمن مجرى التهوية

وضعت هذه الأطباق المخبرية في مركز السطح السفلي لمجرى التهوية, تحت كثافة الأشعة $10.6\ W/m^2$, وبعد ذلك عُرِّضَتْ للأشعة فوق البنفسجية لأزمنة محسوبة في البرنامج الحاسوبي, ثم حضنت هذه المستعمرات في درجة حرارة $37C^o$ مدة 24 ساعة، ثم حُدِّدَ تركيزها, وحُسِبَت فعالية التطهير العملية باستخدام العلاقة (4).

إذْ: C_f: التركيز النهائي لمستعمرات E.coli بعد التعرض للأشعة, C_i: التركيز الأولي للمستعمرات قبل التعرض للأشعة, E_p: فعالية التطهير العملية، وقد

اِختُبِرَتْ أزمنة التعرض للأشعة بحيث نحصل على فعالية التطهير المبينة بالجدول (1)

3. نتائج البحث

يبيّن الجدول (1) كلاً من نتائج فعالية التطهير العملية من الناتجة عن تعريض مستعمرات E.coli للأشعة, وفعالية التطهير المحسوبة برمجياً, ويظهر من الجدول (1) تطابق النتائج النظرية مع النتائج العملية, مما يمكننا من الاعتماد على البرنامج الحاسوبي في تحديد فعالية التطهير من أجل أقسام المشفى المختلفة، وبشكل خاص غرفة العمليات وغرفة العناية المشددة.

الجدول(1) فعالية تطهير E.coli العملية والمحسوبة برمجياً

زمن التشعيع t [Sec]	التركيز النهائي بعد التشعيع C_f [col/ml]	التركيز الأولي قبل التشعيع Ci [col/ml]	الفعالية (عملياً) Ep %	الفعالية (برمجياً) Es %	الفرق في الفعالية E%
300	10^6	10^7	90	91.289	1.289
600	10^5	10^7	99	99.241	0.241
900	10^4	10^7	99.9	99.934	0.034
1200	10^3	10^7	99.99	99.994	0.004

بعد التأكد من مطابقة نتائج البرنامج للحالة الواقعية حُدِّدَتْ فعالية تطهير الهواء من أجل مجموعة من الكائنات المجهرية التي يمكن أن تنتشر في جو غرفة عمليات وغرفة عناية مشددة [16], فمن أجل غرفة عمليات أبعادها 6×7×3.5 متر[15], ومعدل تجديد الهواء فيها ACH=20, ودرجة حرارة الهواء 20 درجة مئوية, كانت فعالية التطهير تساوي 35.383%من أجل E.coli, و80.756% من أجل pseudomonas aieruginosa, و27.784% من أجل Staphylococcus aureus, في حين كانت فعالية تطهير الهواء لغرفة عناية مشددة أبعادها 5×4×3 أمتار [15], ومعدل تجديد الهواء فيها ACH=6, ودرجة حرارة الهواء 22 درجة تساوي 98.361% من أجل E.coli, و100% من أجل pseudomonas aieruginosa, و95.331% من أجل Staphylococcus aureus.

يبيّن الجدول (2)فعالية تطهير بعض الكائنات الممرضة الهوائية في كل من غرفة العمليات والعناية المشددة, والجدول (3) أبعاد الغرف ومعدلات التهوية ومستوى العقامة التي حُسِبَتْ فعالية التطهير عندها.

الجدول(2) فعالية تطهير بعض الكائنات الممرضة الهوائية في كل من غرفة العمليات والعناية المشددة[1]

الكائن المجهري	عامل الحساسية للأشعة في الهواء[7] k [m^2/J]	فعالية التطهير في العمليات %	فعالية التطهير في العناية المشددة %
Escherichia coli[2]	0.1561	35.383	98.361
Pseudomonas aieruginosa[2]	0.5721	80.756	100
Staphylococcus aureus[2]	0.113	27.784	95.331
Tuberculosis	0.4721	74.332	99.9997
Burkholderia cepacia	0.2115	45.624	99.677
Mycobacterium bovis BCG	0.12	29.225	96.138
Serratia marcescens	0.095	23.94	92.394

1 عند استعمال مصابيح أشعة ذات خرج إشعاعي P_{UV}=15 watts.

2 من الكائنات الممرضة الشائعة في غرفة العمليات والعناية المشددة.

الجدول(3) المتطلبات التصميمية التي حُسِبَت فعالية التطهير عندها لكل من غرفة العناية المشددة وغرفة العمليات

	العناية المشددة	غرفة العمليات
أبعاد الغرفة [15][m]	4×5×3	6×7×3,5
معدل تجديد الهواء [10]	6	20
معدل تدفق الهواء [m^3/min]	6	49
درجة حرارة الهواء [10]	22	20
مستوى العقامة المطلوب [12]	90%	99.9999%

وعند استعمال هذه التقنية من أجل غرف العناية المشددة التي تتطلب مستوى عقامة لا يقل عن 99% يمكن استخدام مصابيح الأشعة عالية الخرج الإشعاعي

(PUV=25.5 watts), إذْ تصبح فعالية التطهير من أجل غرفة أبعادها 5×4×3 أمتار, ومعدل تجديد الهواء ACH=6, وحرارة الهواء 22 درجة, تساوي 99.907%من أجل E.coli, و100% من أجل pseudomonas aieruginosa, و99.453% من أجل Staphylococcus aureus, كما يبيّن الجدول (4).

الجدول(4) فعالية تطهير بعض الكائنات الممرضة الهوائية في كل من غرفة العمليات والعناية المشددة[1]

الكائن المجهري	عامل الحساسية للأشعة في الهواء [7] k [m^2/J]	فعالية التطهير في العمليات %	فعالية التطهير في العناية المشددة %
Escherichia coli[2]	0.1561	52.402	99.907
Pseudomonas aieruginosa[2]	0.5721	93.928	100
Staphylococcus aureus[2]	0.113	42.498	99.453
Tuberculosis	0.4721	90.092	100
Burkholderia cepacia	0.2115	64.503	99.994
Mycobacterium bovis BCG	0.12	44.436	99.604
Serratia marcescens	0.095	37.2	98.747

1 عند استعمال مصابيح أشعة عالية الخرج إشعاعي P_{UV}=25.5 watts.

2 من الكائنات الممرضة الشائعة في غرفة العمليات والعناية المشددة.

وعند استعمال المصابيح عالية الخرج الإشعاعي من أجل غرفة عمليات أبعادها 6×7×3.5 متر [15], ومعدل تجديد هواء ACH=20, وحرارة الهواء 20 درجة, تصبح الفعالية 52.402% من أجل E.coli, و93.928% من أجل pseudomonas aieruginosa, و42.498% من أجل Staphylococcus aureus, كما يبيّن الجدول (4).

4. مناقشة النتائج والاستنتاجات

بيّنت نتائج الدراسة قدرة البرنامج الحاسوبي المنفذ على التنبؤ بالأزمنة المطلوبة للوصول إلى مستوى التطهير المطلوب, فضلاً عن أن سهولة التعامل مع خياراته تقدمه كوسيلة مهمة لمساعدة المصممين من أجل الوصول إلى الأهداف المطلوبة في أثناء عملية التطهير, خصوصاً وأن نظام الاختبار المنفذ في أثناء البحث قد أمن المعلومات المطلوبة لتنفيذ البرنامج واختبار مدى مطابقة نتائجه مع النتائج العملية.

بيّنت نتائج دراستنا أن فعالية تطهير E.coli في الهواء كانت 98.361% عند معدل تدفق 6 m^3/min من أجل غرفة العناية المشددة التي تتوافق مع نتائج Griffiths وفريقه [1] التي كانت 97.34 عند معدل تدفق 8.33 m^3/min ولاشك أن الفارق بين النتيجتين كان يعود لاختلاف معدل التدفق بين الدراستين.

أيضاً فإن نتائج الشروط المحيطة المؤثرة في التجربة توافقت مع نتائج Lau وشركاه[4], إذْ أُدخِلَتْ هذه العوامل المؤثرة في الفعالية النهائية في خوارزمية البرنامج الحاسوبي.

من ناحية ثانية فإن تحقيق فعالية تطهير تساوي 90% للهواء المتدفق ضمن مجرى التهوية إلى غرفة العناية المشددة باستخدام مصابيح أشعة فوق بنفسجية ذات الخرج الإشعاعي P_{UV}=15watts بناء على المتطلبات التصميمية لها, تتحقق عندما تكون حساسية الكائن المجهري للأشعة فوق البنفسجية أكبر أو تساوي 0.08491 m^2/J, أمَّا من أجل تحقق عملية التطهير بفعالية 99.9999% من أجل غرفة العمليات فإن حساسية الكائن المجهري يجب أن تكون أكبر أو تساوي 5m^2/J, وهذه الحالة غير ممكنة الحدوث في الحياة الواقعية, من هذا نجد أنه يمكن استخدام نظام تطهير الهواء ضمن مجرى التهوية بواسطة الأشعة فوق البنفسجية كنظام مستقل من أجل تطهير الهواء المتدفق إلى غرف العناية المشددة إذْ يبيّن الجدول (2) أن هذه التقنية تحقق مستوى العقامة المطلوب (ألا تقل العقامة عن 90%), وعند الحاجة لمستوى تطهير أعلى في غرفة العناية المشددة نقترح استخدام المصابيح المولدة للأشعة فوق البنفسجية عالية الخرج الإشعاعي High output UV lamps, التي سترفع

كثافة حقل الأشعة ومن ثَمَّ فعالية التطهير النهائية, كما يبيّن الجدول(4).

أمَّا بالنسبة إلى غرف العمليات فتستخدم هذه التقينة كنظام داعم للمرشحات الجزيئية عالية الفعالية HEPA filters, إذْ لا يمكن استخدامها كنظام تطهير مستقل, لأنها لم تحقق مستوى العقامة المطلوب (ألا يقل مستوى العقامة عن99.9999%).

توصلنا في نهاية هذا البحث إلى نتيجة مفادها أن استخدام نظام الأشعة فوق البنفسجية من أجل تطهير الهواء المتدفق إلى كل من غرف العناية المشددة والعمليات يساعد على إبادة الكائنات المجهرية المحمولة بالهواء، خصوصاً أن استخدام هذا النظام قبل المرشحات الجزيئية عالية الفعالية يخفف العبء عنها في عملية تطهير الهواء, ومن ثَمَّ تساعد على إطالة عمر هذه المرشحات.

من ناحية ثانية فإن استخدام هذا النظام في مجرى التهوية الذي يحوي الهواء المطروح خارج هذه الغرف, يساعد على تطهير الهواء المطروح, ومن ثَمَّ إمكانية إعادة استخدامه لتهوية أقسام أخرى في المشفى.

5. الخاتمة

إن لتقنية تطهير الهواء ضمن مجاري التهوية في المشفى بالأشعة فوق البنفسجية مستقبلاً واعداً, خصوصاً مع النتائج التي حققتها في تطهير الهواء في غرف العمليات إذْ إنَّها حققت مستويات العقامة المطلوبة 90% عند استخدام المصابيح ذات الخرج الإشعاعي PUV=15 watts, و99% عند استخدام مصابيح ذات خرج إشعاعي PUV=25.5 watts, مما يبيّن إمكانية استخدامها كنظام مستقل لتطهير الهواء في غرف العناية المشددة, ومن ناحية ثانية فإن استخدامها كنظام داعم للمرشحات الجزيئية في غرف العمليات يحقق فائدة اقتصادية ذات شقين, الشق الأول يتجلى في إطالة عمر العمل الافتراضي للمرشحات الجزيئية المستخدمة في غرف العمليات، ومن ثَمَّ تخفيض تكاليف استبدالها الباهظة, والشق الثاني هو أن إعادة استخدام الهواء المطروح في تهوية أقسام أخرى في المشفى يخفض من الطاقة المطلوبة لمعالجة هواء جديد لأنَّ الهواء المطروح معالج سلفاً, وهذا يؤدي إلى تخفيض تكاليف معالجة هواء جديد.

المراجع:

1. Griffiths W.D., Bennett A., Speight S., Parks S. "*Determining the performance of a commercial air purification system for reducing airborne contamination using model microorganisms: a new test methodology*",Journal of Hospital Infection, 2005, Vol. 61, P.P:242–247.
2. Kowalski, W.J., and Bahnfleth, W.P."*Proposed Standards and Guidelines for UVGI Air Disinfection*", IUVA News, 2004, Vol.6, No.1, P.P:20-25, International Ultraviolet Association, (IUVA), Canada.
3. Kujundzic E., Hernandez M., Miller S. "*Ultraviolet germicidal irradiation inactivation of airborne fungal spores and bacteria in upper room air and HVAC in duct configurations*", NHR research press,2006.
4. Lau J., Bahnfleth W., Freihaut J. "*Estimating The Effects Of Ambient Conditions And Aging On The Performance Of UVGI Air Cleaners*", Building and Environment, 2009,Vol. 44, P.P:1362–1370.
5. Lucas R., McMichael T., Smith W., Armstrong B. "*Solar Ultraviolet Radiation Global Burden of Disease from Solar Ultraviolet Radiation*", World Health Organization, 2006, Public Health and the Environment, Geneva, P.258.
6. Granich R., Binkin N.J, Jarvis W.R, Simone P.M, Rieder H.L., Espinal M.A., Kumaresan J. "*Guidelines For The Prevention Of Tuberculosis In Health Care Facilities In ResourceLimited Settings*", WHO/CDS/TB/99.269, Centers for Disease Control and Prevention Atlanta, USA; International Union Against Tuberculosis and Lung Disease Paris, France; World Health Organization Geneva, Switzerland, 1999.
7. Kowalski W. "*Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*", 1st ed, springer, London, 2009; P.504.
8. Fletcher L.A., Noakes C.J., Beggs C.B., Sleigh P.A. "*The Importance of Bioaerosols in Hospital Infections and the Potential for Control Using Germicidal Ultraviole tIrradiation*", Aerobiology Research Group 1997, Civil Engineering school.
9. Dreiling, J.B. "*An Evaluation Of Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) Technology In Health Care Facilities*",Master thesis, Department Of Architectural Engineering And Construction Science, Kansas State University, USA, 2008.
10. Ninomura P., Hermans R. "*ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008 Ventilation Standard For Health Care Facilities*", ASHRAE Journal, Oct/2008, P.P:52-58.
11. "*UV Disinfection - Application Information - Perfection Preserved by the purest of light*", 2004; www.uvdisinfection.philips.com.
12. *Standard for the Testing and Commissioning of UVGI in-duct Air Treatment Systems*", IUVA-S01A-2005, International Ultraviolet Association, IUVA, 2005, Canada.
13. Drake B. "*Infection Control In Hospitals*", ASHRAE Journal, Vol.48, June 2006; P.P:12–17, American Society Of Heating Refrigerating And Air-Conditioning Engineers, (ASHRAE), USA.
14. Kowalski W.,Bahnfleth, WP. "*Effective UVGI System Design Through Improved Modeling*", ASHRAE 2000,Vol. 106.
15. "*Guidelines for design and construction of healthcare facilities*",The American Institute of Architects Academy of Architecture for Health, 2nd ed, 2006, USA.
16. Qudiesat K., Abu-Elteen k., Elkarmi A., Hamad M., Abussaud M. "*Assessment of airborne pathogens in healthcare Settings*", African Journal of Microbiology Research Vol. 3, No.2, 2009, P.P:66-76.

6. مسرد المصطلحات

ANSI:	American National Standards Institute
ASHRAE:	American Society Of Heating, Refrigerating, And Air-Conditioning Engineers
DNA:	Deoxyribose Nucleic Acid
HEPA:	High-Efficiency Particulate Air
HVAC:	Heating, Ventilation And Air-Conditioning
MPPS:	Most Penetration Particle Size
RNA:	Ribonucleic Acid
RTI:	Research Triangle Institute (RTI International)
UV – A:	"Alpha" Band of Ultraviolet
UV – B:	"Beta" Band of Ultraviolet
UV – C:	"C" Band of Ultraviolet
UVGI:	Ultraviolet Germicidal Irradiation

تاريخ ورود البحث إل مجلة جامعة دمشق 2012/12/4